



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Peranan *Fender* Dalam Studi Kasus Tubrukan *Landing Ship Tank* Dengan Haluan *Tugboat 2x800 HP* Menggunakan Metode Elemen Hingga

Agung Putra¹⁾, Hartono Yudo¹⁾, Imam Pujo Mulyatno¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: agungjuventini94yahoo.com hartonoyudo@gmail.com

Abstrak

Impact adalah benturan antara dua benda dalam waktu yang singkat dengan gaya yang besar. Penelitian tubrukan kasus ini pada haluan *tugboat 2 x 800 HP* dengan *Landing Ship Tank* menggunakan metode elemen hingga dengan *software Ansys-LS DYNA*. Pada penelitian ini digunakan 2 variasi yaitu tubrukan dimana *tugboat* tidak dilengkapi *fender* dan *tugboat* dilengkapi *fender*. Nilai ketebalan pelat yang digunakan yaitu 10 mm, dengan variasi kecepatan 1 knot, 2 knot dan 3 knot. Nilai pembebanan yang digunakan menggunakan energi kinetik masing-masing 0,77 MJ, 7,37 MJ, dan 28,23 MJ. Hasil analisa menunjukkan kerusakan pada badan kapal akan bertambah dengan bertambahnya kecepatan. Penambahan *fender* pada *tugboat* dapat mengurangi kerusakan pada badan kapal. Nilai gaya kontak maksimum sebelum diberikan *fender* dari kecepatan 1 knot, 2 knot dan 3 knot, masing-masing 280,82 MN, 428,5 MN, dan 810,97 MN, setelah diberikan *fender* nilai gaya kontak maksimum menjadi 76,63 MN, 289,22 MN, dan 485,32 MN. Nilai Energi Kinetik untuk *tugboat* yang tidak dilengkapi *fender* kecepatan 1 knot, 2 knot dan 3 knot, masing – masing $E_{K0} = 0,77$ MJ dan $E_{K1} = 0,08$ MJ, $E_{K0} = 7,37$ MJ dan $E_{K1} = 0,32$ MJ, $E_{K0} = 28,23$ MJ dan $E_{K1} = 11,32$ sedangkan untuk *tugboat* yang dilengkapi *fender* nilai maksimum gayanya masing masing $E_{K0} = 0,17$ MJ dan $E_{K1} = 0,02$ MJ, $E_{K0} = 0,48$ MJ dan $E_{K1} = 0,03$ MJ, $E_{K0} = 11,27$ MJ dan $E_{K1} = 0,17$ MJ. Sehingga dengan ditambahkannya *fender* dapat mengurangi kerusakan pada badan kapal saat tubrukan.

Kata Kunci : Ansys-LS Dyna, Tubrukan, *Fender*, Metode Elemen Hingga.

1. PENDAHULUAN

Tubrukan kapal memberi dampak yang cukup signifikan terhadap kekuatan struktur kapal yang erat hubungannya dengan keamanan kapal. Sesuai data statistik yang ada pada *Lloyd Register* (1995), hampir setengah data tenggelamnya kapal diakibatkan tubrukan dan kandasnya kapal. Tingginya tingkat aktivitas lalu lalang kapal serta terbatasnya area jalur perlintasan perairan pelabuhan sangat berpotensi terjadinya insiden kecelakaan kapal terutama tubrukan kapal. Kecelakaan ini mengakibatkan kerugian materi hingga timbulnya korban jiwa serta berdampak pada kerusakan ekologis bagi wilayah pesisir dan laut.

Kasus mengenai tubrukan kapal dengan kapal pernah terjadi pada kapal MV Batam Jet-2 dan MV Miko Natalia 33 di laut Batam pada 9 Desember 2013. Tubrukan kapal dengan kapal tersebut menurut informasi yang dihimpun di Pelabuhan Domestik Sekupang, kedua kapal tersebut saling bertabrakan saat masih berada di alur pelan pelabuhan. MV Miko Natalia 33 sedang berlayar menuju Tanjungbalai Karimun, sedangkan Batam Jet 2 baru tiba dari Dumai. Kedua kapal sama-sama sedang membawa penumpang yang cukup ramai. Terjadinya tabrakan tersebut disebabkan oleh masing-masing ABK kapal yang tidak mau mengalah dalam pelayaran.

Berdasarkan studi kasus diatas perlu dilakukan penelitian mengenai tubrukan kapal dengan kapal. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan informasi kepada pihak-pihak terkait yang membutuhkan.

Penelitian mengenai tubrukan kapal dengan jetty pernah di analisa oleh mahasiswa S-1 Teknik Perkapalan Undip yang bernama saudara Ocid Mursid dengan dosen pembimbing bapak Ir. Imam Pujo Mulyatno, MT, beliau menganalisa tubrukan kapal SPOB dengan jetty. Perbedaan dalam penelitian ini yaitu menganalisa tubrukan kapal dengan kapal, sehingga ada perbedaan *input* dan *outputnya*.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kerusakan pada badan kapal LST saat ditubruk *tugboat* dan kerusakan lambung kapal setelah *tugboat* di lengkapi *fender*. dengan di tambahkannya *fender*. Selain itu tujuan lain dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui nilai tegangan pada badan kapal dan energi kinetik yang hilang setelah tubrukan pada kapal LST.

2. DASAR TEORI

2.1. Konsep Tumbukan Kapal dengan kapal.

Analisa tubrukan kapal dibagi atas dua prosedur, yaitu perhitungan dinamika eksternal dan mekanika internal tubrukan. Dengan mengkombinasikan kedua prosedur tersebut diketahui respon energi dan prediksi kerusakan kapal yang terjadi.

2.2. Material plastic kinematic

Pada material kinematis dan isotropis, dapat dibedakan berdasarkan variasi nilai parameter kekerasan material (β) yaitu antara 0 (untuk kekerasan kinematis saja) dan 1 (untuk kekerasan isotropis saja). Laju regangan didapat menggunakan model Cowper-symonds dimana nilai tegangan luluh dapat di cari berdasarkan persamaan berikut:

$$\sigma_Y = \left[1 + \left(\frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{\frac{1}{P}} \right] (\sigma_0 + \beta E_p \epsilon_p^{eff})$$

Dimana σ_0 = tegangan luluh awal, C dan P adalah parameter laju tegangan Cowper-Symond, ϵ_p^{eff} = regangan efektif plastis. dan ϵ_p = modulus kekerasan plastis.

2.3. Material Mooney Rivlin

Mooney rivlin adalah material elastomer yang dapat mengalami regangan sampai dengan 200%. Contoh dari material adalah ban pada mobil. Energi potensial pada

material Mooney Rivlin dapat di cari menggunakan :

$$w = c_{10}(I_1 - 3) + c_{01}(I_2 - 3) + \frac{1}{(J - 1)^2}$$

Dimana C_{10} , C_{01} dan d adalah konstanta material.

2.4. Perhitungan nilai gaya Impact

Nilai gaya impact (P) pada tubrukan lambung kapal dengan *jetty* dapat menggunakan persamaan

$$P = 1,2 \times 10^5 \times V \times \sqrt{DWT}$$

Dimana V adalah kecepatan kapal sebelum mengalami tubrukan, DWT adalah bobot mati kapal.

2.5. Perhitungan energi kinetik

Dalam HSE *Offshore Technology Report*, 2001 direkomendasikan bahwa gaya *impact* dirumuskan sebagai berikut :

$$F = P_0 \\ F = V \sqrt{c.a.m} \dots \dots \dots (2)$$

Dengan
 F = gaya *impact* (MN)
 P_0 = minimum *crushing strength* bagian yang terkena tumbukan dari *vessel* dan bagian *impact* dari struktur *landing platform*.
 c = kekakuan akibat tumbukan pada *vessel* (MN/m)
 a = koefisien massa tambah (*sideway impact* = 1,4 ; *stern / bow impact* = 1,1)
 m = *displacement vessel* (Kg)
 V = kecepatan merapat relatif (m/s)

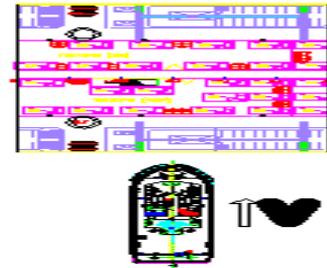
Total energi kinetik yang terjadi akibat tubrukan kapal diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$Ek = \frac{1}{2} . a . m . v^2 \dots \dots \dots (3)$$

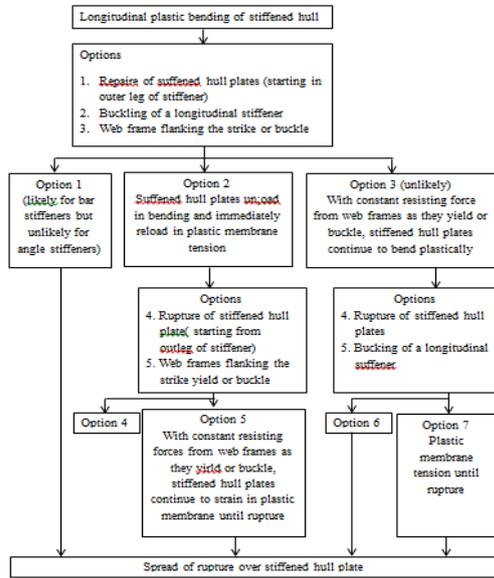
E = Energi Kinetik (N)
 m = Massa benda/kapal (kg)
 a = Koefisien massa tambah benda/kapal
 = 1,4 untuk tubrukan samping
 = 1,1 untuk tubrukan depan atau belakang
 V = Kecepatan tubrukan (m/s).

2.6. Karakteristik Tubrukan pada Pelat Lambung kapal

Metode yang di gunakan dalam penelitian Rossenblat yang menganalisa benturan ringan yang didefinisikan sebagai tubrukan tanpa kepecahan. Pada gambar 3 di jelaskan karakteristik deformasi pada pelat lambung tunggal. [10]



Gambar 2. Skema tubrukan



Gambar 1. Diagram alir untuk analisa tubrukan plastis samping pada kapal dengan pelat lambung tunggal atau pelat luar.

2.7. Formula Elemen Hingga Kontak pada Ansys

Dengan Menggunakan metode *Penalty*, di asumsikan gaya kontak sejajar dengan garis normal permukaan, dengan persamaan:

$$K_{cont} \Delta X_{Penetr} = \Delta F_{cont} \dots \dots \dots (4)$$

- K_{cont} = contact Stiffness
- X_{penetr} = jarak antara 2 nodes dalam
- F_{cont} = gaya kontak

Berdasarkan Metode augmentasi lagrange menunjukan bahwa metode *penalty* dengan control penetrasi. Berdasarkan persamaan kontak (3) di dapatkan persamaan berikut: [11]

$$\lambda_{i+1} = \lambda_i K_{cont} \Delta X_{Penetr} \dots \dots \dots (5)$$

λ_i = lagrangemultiplier

3. METODOLOGI PENELITIAN

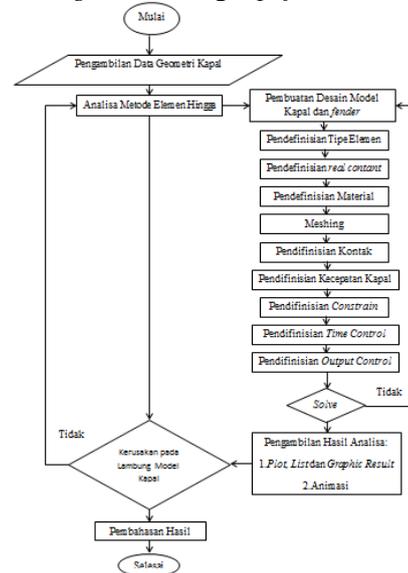
3.1. Skema Tubrukan

Skema tubrukan pada kapal LST dengan *tugboat* di tampilkan pada gambar

3.2. Perancangan

Perancangan tubrukan kapal *tugboat* dengan LST menggunakan metode elemen hingga di tampilkan pada gambar 3. Dalam analisa tubrukan ini di terbagi atas 2 kondisi yaitu:

- a. *Tugboat* tidak dilengkapi *fender*
- b. *Tugboat* di lengkapi *fender*.



Gambar 3. Bagan perancangan

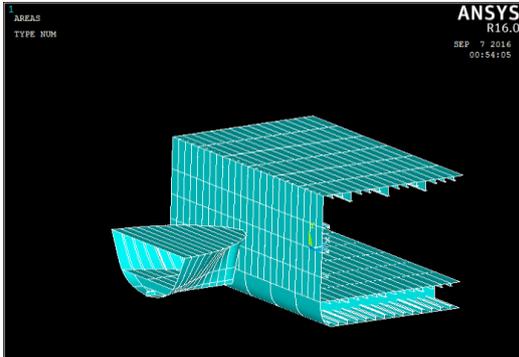
3.3. Data primer

Data primer yang dibutuhkan dalam penelitian antara lain:

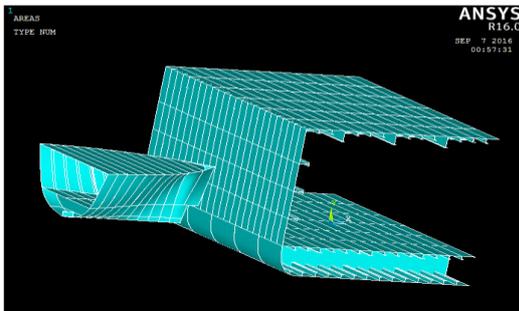
- a. Ukuran utama kapal LST
 - Tipe = Landing Ship Tank
 - Length Over All= 120 m
 - Bread Moulded = 18 m
 - Draught = 3 m
- b. Ukuran utama kapal *Tugboat*
 - Tipe = Tugboat
 - Length Over All = 23,50 m
 - Bread Moulded = 7 m
 - Draught = 3,15 m
- c. Gambar Profil konstruksi kapal
- d. Gambar *General Arrangement*
- e. Spesifikasi *fender*

3.4. Pemodelan Geometri

Pemodelan geometri terdiri atas model badan kapal dan massa kapal. Pemodelan pada bagian badan kapal dalam bentuk *Surface*, karena memiliki ketebalan permukaan yang tipis.



Gambar 4. Geometri model tanpa *fender*



Gambar 5. Geometri model dengan *fender*

3.5. Pendefinisian tipe elemen dan real constant

Padap penelitian kali ini jenis elemen yang di gunakan yaitu :

Tabel 1. Pendefinisian elemen dan *real constan*

Nama Geometri	Jenis Elemen	Real Constant	
		Tipe	Nilai
Badan Kapal	SHELL 163	Ketebalan <i>surface</i>	10 mm
Massa Kapal	MASS 166	Massa Kapal LST	166810 kg
Massa Kapal	MASS 166	Massa Kapal <i>Tugboat</i>	10960 kg
<i>Fender</i>	SHELL 163	Ketebalan <i>surface</i>	37,5 mm

Massa kapal yang di gunakan dalam analisa yaitu
 $= 1,4 \times \text{massa kapal LST}$

$$= 1,4 \times 5054400 \text{ kg} = 7076160 \text{ kg.}$$

3.6. Material

Material yang di gunakan untuk badan dan massa kapal *Plastic kinematic* dan *fender* menggunakan *mooney rivlin*.

Tabel 2. Parameter Material *Plastic Kinematic* untuk kapal *tugboat*

Density (kg/m ³)	10960
Young's modulus (N/m ²)	2,10x10 ¹¹
Poisson ratio	0,3
Yield Strength (N/m ²)	4,40x10 ⁸
Tangent Modulus	3200
Hardening Parm	0
Strain Rate (c)	3200
Strain Rate (P)	5
Failure Strain	0,2

Tabel 3. Parameter Material *Plastic Kinematic* untuk kapal LST

Density (kg/m ³)	166810
Young's modulus (N/m ²)	2,10x10 ¹¹
Poisson ratio	0,3
Yield Strength (N/m ²)	4,40x10 ⁸
Tangent Modulus	3200
Hardening Parm	0
Strain Rate (c)	3200
Strain Rate (P)	5
Failure Strain	0,2

Tabel 4. Parameter Material *Mooney Rivlin*

Density (kg/m ³)	1255
Poisson Ratio	0,45
C(10) (N/M ²)	7,2x10 ⁵
C(01) (N/M ²)	1,8 x10 ⁵

3.7. Pendiskripsian elemen (*meshing*)

Meshing merupakan pembagian benda menjadi bagian-bagian yang kecil, yang masih memiliki sifat-sifat yang sama dengan benda asalnya. Pembagian elemen pada geometri dengan cara pengaturan ukuran *meshing* pemilihan element attributes, jenis

mesh berupa *Shell* (kapal), 3D *mass* (massa kapal).

3.8. Pendefinisian Kontak

Kontak yang di gunakan pada tubrukan badan kapal dengan kapal yaitu *surface to surf* – ASTS. Nilai koefisien gesek statis dan dinamis yang di gunakan berturut-turut 0.74 dan 0,57.

3.9. Pendefinisian *Constrain*

Pada kapal tidak memiliki derajat kebebasan translasi terhadap sumbu Y.

3.10. Pendefinisian Kecepatan

Kecepatan yang di gunakan hanya pada kapal yaitu sebesar 1 knot (0,5144 m/s), 2 knot (1,0288 m/s), dan 3 knot(1,5432 m/s),

3.11. Pendefinisian Pembebanan

Pembebanan yang di gunakan pada penelitian ini yaitu energi kinetik yaitu:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot a \cdot m \cdot v^2$$

Tabel 5. Input energi

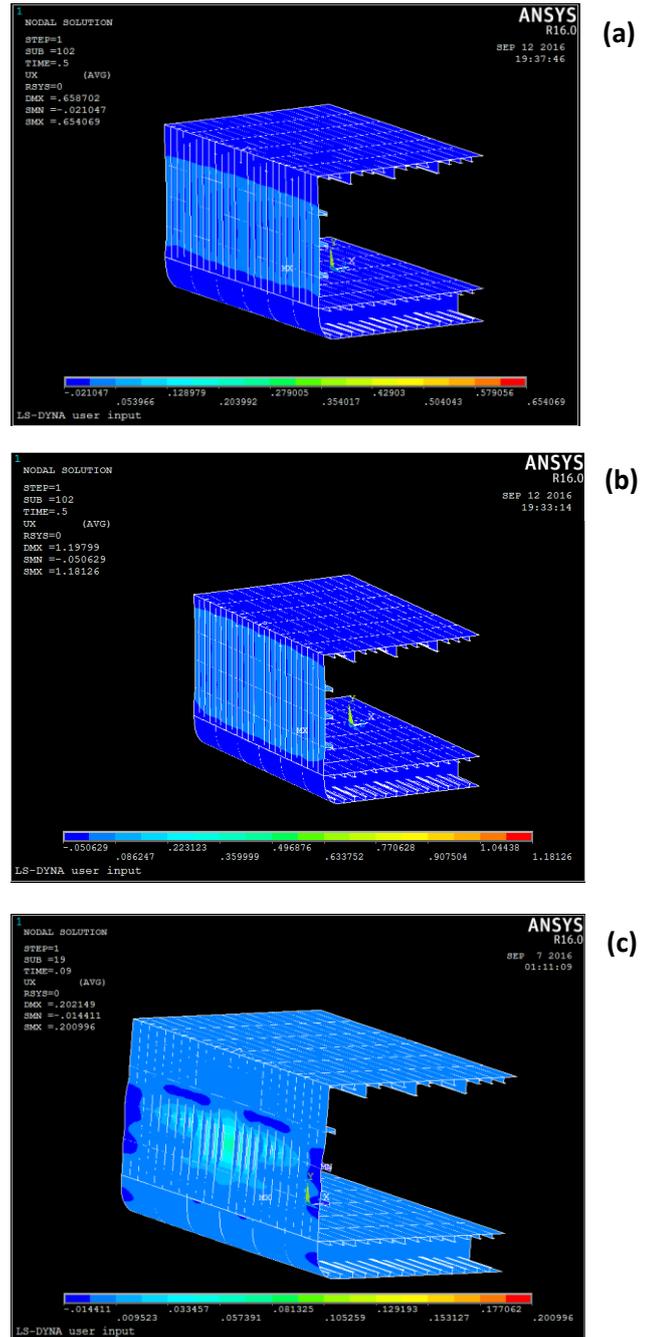
v (knot)	Ek (MJ)
1	0,77
2	7,37
3	28,23

3.12. Pendefinisian waktu dan *output control*

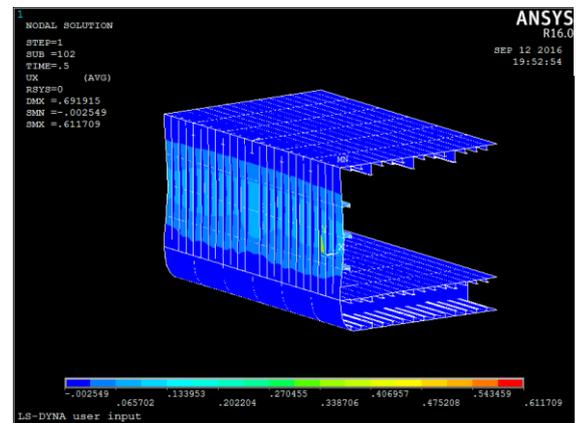
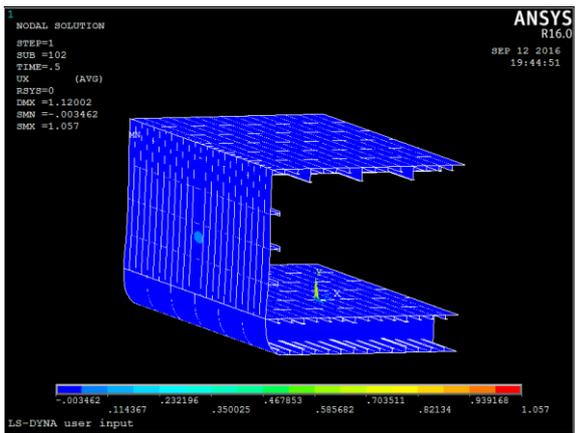
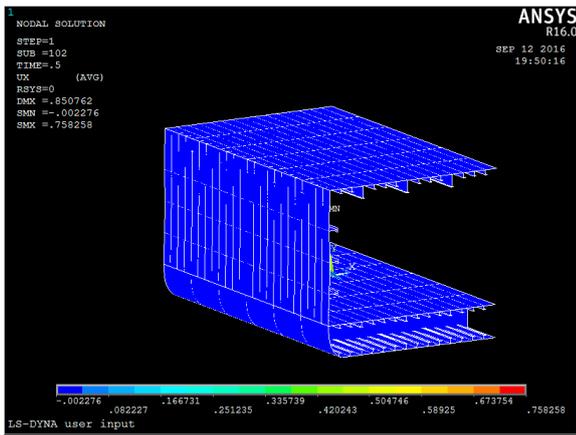
Pendefinisian batasan waktu tubrukan di butuhkan untuk dapat mengatur lamanya simulasi. Untuk 1 knot (0,5144 m/s), 2 knot (1,0288 m/s), dan 3 knot(1,5432 m/s), berturut-turut 0,5 detik, 0,5 detik dan 0,5 detik. Pendeskripsian *output control* sebanyak 100 *step*.

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

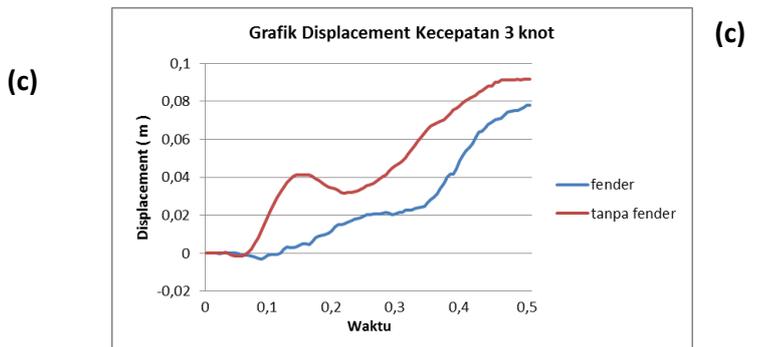
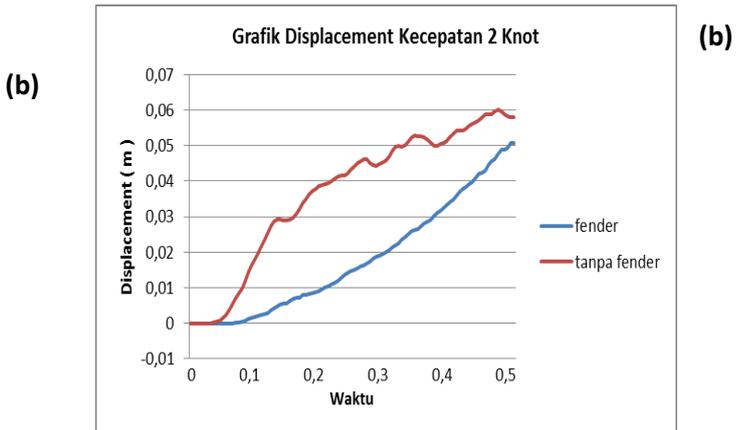
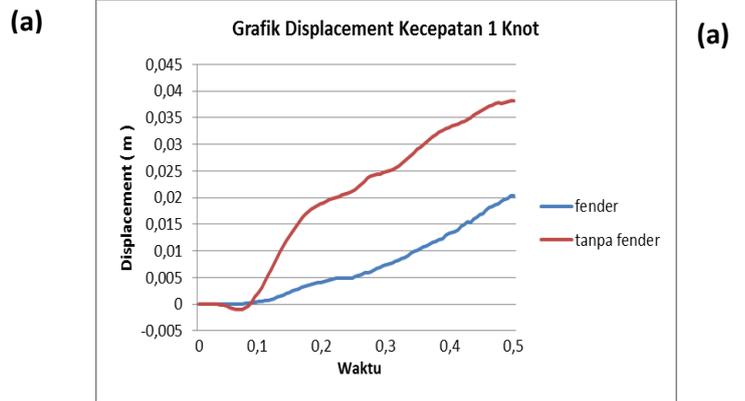
4.1. Kerusakan Badan Kapal dan Displacement



Gambar 6. kerusakan lambung kapal dengan *tugboat* tidak dilengkapi *fender* dengan kec. (a) 1 knot; (b) 2knot; (c) 3 knot.



Gambar 7. kerusakan lambung kapal dengan *tugboat* dilengkapi *fender* dengan kec. . (a) 1 knot; (b) 2knot; (c) 3 knot.



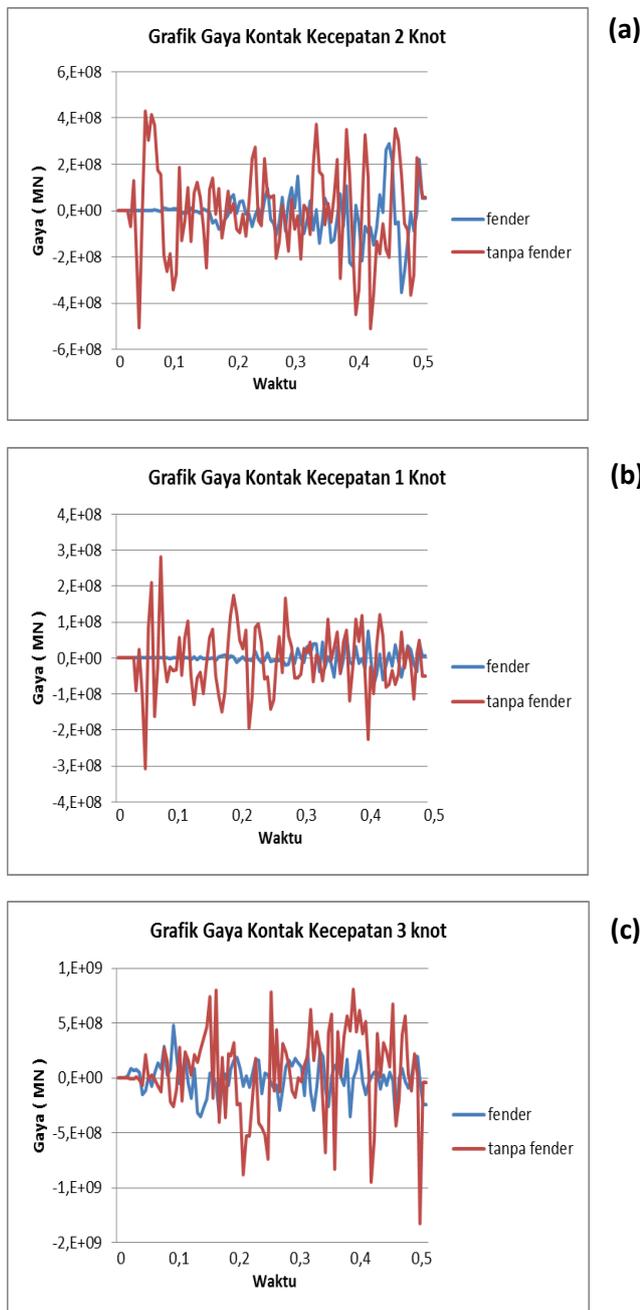
Gambar 8. Grafik Displacement. (a) 1 knot; (b) 2knot; (c) 3 knot.

Berdasarkan gambar 6 dan 7 kerusakan pada lambung kapal akan semakin besar jika kecepatan semakin besar. Setelah *tugboat* dilengkapi dengan *fender* deformasi pada lambung kapal dapat di minimalisir.

Berdasarkan gambar 8, pada saat *tugboat* belum dilengkapi dengan *fender* nilai maksimum displacement akan semakin besar jika kecepatan di tambah, hal tersebut menyebabkan penetrasi *tugboat* pada lambung kapal LST akan semakin dalam jika kecepatan di tambahkan. Setelah *tugboat* di lengkapi dengan *fender* penetrasi akan semakin besar jika kecepatan ditambahkan.

4.2. Gaya saat Terjadi Tubrukan

Besarnya nilai gaya reaksi pada saat terjadi tubrukan didapatkan dengan persamaan .berikut hasil analisa gaya.



Gambar 9 Grafik Gaya Kontak. (a) 1 knot; (b) 2 knot; (c) 3 knot.

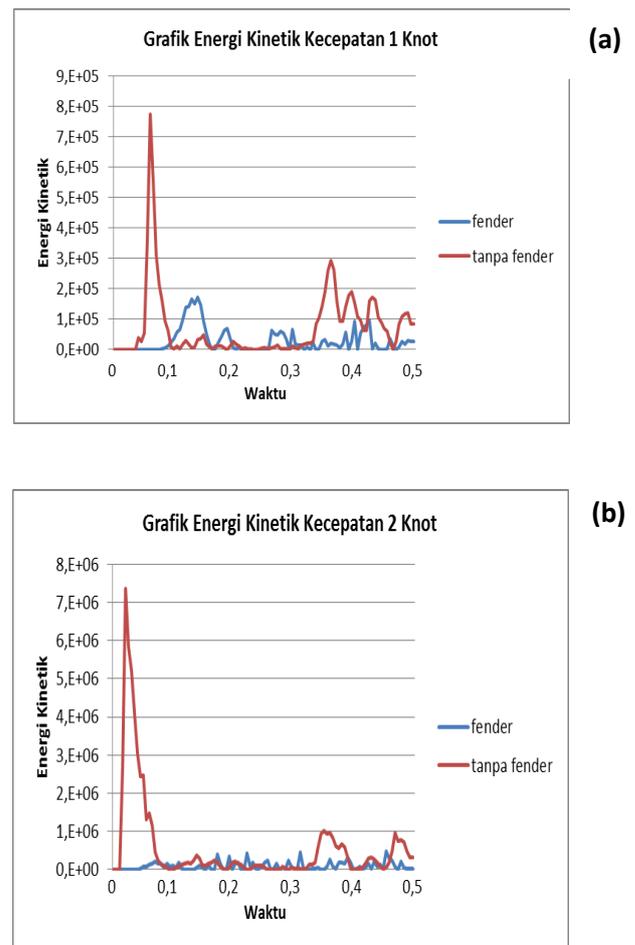
Pada gambar nilai gaya menunjukan nilai gaya mempunyai nilai aktif (aksi) dan negatif (reaksi), Gaya yang dapat menyebabkan kerusakan pada lambung kapal adalah gaya reaksi. Berdasarkan gambar 9 pada kecepatan kapal 1 knot, 2 knot dan 3 knot, nilai gaya pada *tugboat* yang dilengkapi dengan *fender* nilai gayanya lebih kecil jika di bandingkan dengan *tugboat* yang di tidak

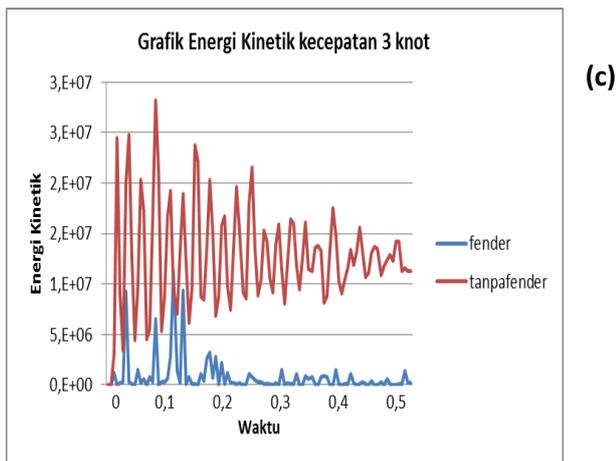
lengkapi dengan *fender*. Nilai gaya kontak maksimum pada tubrukan kapal dengan *tugboat* yang tidak dilengkapi dengan *fender* pada kecepatan kapal 1 knot, 2 knot dan 3 knot.masing – masing 280,82 MN, 428,5 MN, dan 810,97 MN sedangkan *tugboat* yang dilengkapi dengan *fender* pada kecepatan kapal 1 knot, 2knot dan 3 knot.masing - masing 73,63 MN, 289,22 MN, dan 485,32 MN.

Tabel 6. Perbandingan Gaya Kontak

kecepatan (knot)	Force maximum (MN)		Selisih (%)
	perhitungan	MEH	
1	140	142,83	2,83
2	283	289,22	6,22
3	420	422,61	2,61

4.3. Energi Kinetik





Gambar 10. Grafik Energi Kinetik. (a) 1 knot; (b) 2 knot; (c) 3 knot.

Berdasarkan gambar 10, nilai energi kinetik kapal saat terjadi tubrukan, nilai energi kinetiknya akan semakin besar bila kecepatannya di tambahkan. Setelah *tugboat* dilengkapi dengan *fender*, energi kinetik akan terserap oleh *fender* sampai *fender* tidak dapat berkontraksi lagi, sehingga energi kinetik yang hilang akan lebih sedikit dibandingkan dengan *tugboat* yang tidak dilengkapi dengan *fender*.

<i>Tugboat</i>	Energi Kinetik (MJ) 1 Knot	
	Ek0	Ek1
<i>Fender</i>	0,17	0,02
Tanpa <i>Fender</i>	0,77	0,08

<i>Tugboat</i>	Energi Kinetik (MJ) 2 Knot	
	Ek0	Ek1
<i>Fender</i>	0,48	0,03
Tanpa <i>Fender</i>	7,37	0,32

<i>Tugboat</i>	Energi Kinetik (MJ) 3 Knot	
	Ek0	Ek1
<i>Fender</i>	11,27	0,17
Tanpa <i>Fender</i>	28,32	11,32

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Kerusakan pada badan kapal akan meningkat dengan bertambahnya kecepatan kapal. Dengan ditambahkannya *fender* pada *tugboat*, kerusakan dapat berkurang.

2. Nilai gaya kontak maksimum menggunakan metode elemen hingga untuk *tugboat* yang tidak dilengkapi *fender* kecepatan 1 knot, 2 knot dan 3 knot, masing – masing 280,82 MN, 428,5 MN, dan 810,97 MN, sedangkan untuk *tugboat* yang dilengkapi *fender* nilai maksimum gayanya masing 73,63 MN, 289,22 MN, dan 485,32 MN.

3. Nilai Energi Kinetik untuk *tugboat* yang tidak dilengkapi *fender* kecepatan 1 knot, 2 knot dan 3 knot. masing – masing $E_{K0} = 0,77$ MJ dan $E_{K1} = 0,08$ MJ, $E_{K0} = 7,37$ MJ dan $E_{K1} = 0,32$ MJ, $E_{K0} = 28,32$ MJ dan $E_{K1} = 11,32$ sedangkan untuk *tugboat* yang dilengkapi *fender* nilai maksimum gayanya masing masing $E_{K0} = 0,17$ MJ dan $E_{K1} = 0,02$ MJ, $E_{K0} = 0,48$ MJ dan $E_{K1} = 0,03$ MJ, $E_{K0} = 11,27$ MJ dan $E_{K1} = 0,17$ MJ.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Analisa dilakukan pada variasi jarak titik tubrukan.
2. Analisa tubrukan kapal dilakukan dengan konstruksi yang seperti jembatan dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zabur.Anjasfianto. (2013,9 Desember). “Tabrakan antara kapal kontainer KM joerney dan kapal penumpang KM.Lambelu”. <http://www.tribunnews.com/regional/2014/04/01/tabrakan-dua-kapal-tidak-ganggu-pelayaran-di-tanjung-perak>. (diakses tanggal 10 September 2014)
- [2] Mursid, Ocid, 2015. Analisa Tubrukan Pada Lambung Kapal Self Propelled Oil Barge (Spob) 5000 Dwt Dengan Jetty Menggunakan Metode Elemen Hingga. Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan: UNDIP.Semarang
- [3] ANSYS. 2012. *Mechanical APDL Introductory Tutorials*.
- [4] ANSYS. 2014. *Mechanical APDL Introductory Tutorials*.
- [5] Long, N.T. Collision accident between ship and jett.Department of Engineering Mechanics, Ho Chi Minh University of Technology, Vietnam.
- [6] Saputra, E. H. Murdjito., Handayanu., 2011. *Analisa modifikasi struktur boatlanding pada fixed offshore platform akibat tubrukan*

crewboat. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan; ITS, Surabaya.

- [7] Chen, Donghui. 2000. *Simplified Ship Collision Model*. Dissertation submitted to the faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [8] Asachi, Gheorghe. 2011, *Penalty Based Algorithms for Frictional Contact Problem*. Faculty of Civil Engineering and Building Service, Technical University of Iasi